

УДК 681.325

Н. Возна, канд. техн. наук

Тернопільський національний економічний університет

ФОРМАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ РУХУ ДАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЇХ СТРУКТУРНОЇ СКЛАДНОСТІ

***Резюме.** Представлено результати теоретичних та експериментальних досліджень формалізації моделей руху даних розподілених комп'ютерних систем та наведено оцінку їх структурної складності, що може стати основою оцінки архітектурної складності компонентів КС. Це, у свою чергу, створює перспективи покращення інформативності моделей руху даних, що дасть змогу підвищити продуктивність проектування та аналізу проектних рішень компонентів і архітектур складних систем.*

***Ключові слова:** рух даних, моделі руху даних, розподілена комп'ютерна система, формалізація, оцінка структурної складності.*

N. Vozna

FORMALIZATION DATA MODEL OF DISTRIBUTED COMPUTER SYSTEMS AND THEIR ASSESSMENT OF STRUCTURAL COMPLEXITY

***The summary.** This paper presents the results of theoretical and experimental research data traffic models formalizing distributed computer systems and present assessment of their structural complexity that can be the basis for evaluation of the architectural complexity of the computer systems components. This in turn creates better prospects for informative models of data traffic, which leads to better design and performance analysis of design decisions and architecture components of complex systems.*

***Key words:** traffic data, model data traffic, distributed computer system, formalization, evaluation of structural complexity.*

Актуальність дослідження. Розроблення теорії моделей руху даних, яка дозволяє формалізувати процеси формування, передавання, цифрового опрацювання, зберігання та використання інформаційних даних у розподілених комп'ютерних і комп'ютеризованих системах (РКС), є фундаментальною теоретико-методологічною задачею значної системної складності. Широкому використанню моделей руху даних сприяє швидкий розвиток комп'ютерних систем (КС) найрізноманітнішого призначення. До важливого класу таких КС слід віднести системи реального часу (СРЧ), проблемно-орієнтовані комп'ютерні системи (ПОКС), низові комп'ютерні та малі локальні мережі (НКМ, МЛМ), а також спеціалізовані комп'ютерні системи (СКС). Значне зростання потужностей сучасних процесорів, систем передавання даних, теорії, методології й техніки формування та архівації інформаційних повідомлень у базах даних і базах знань створюють нові умови та широкі можливості розвитку фундаментальних засад теорії, методології та інформаційних технологій побудови моделей руху даних у РКС різних класів. При цьому у проблемах моделювання руху даних та оцінювання характеристик системних об'єктів КС ставлять нові задачі, які полягають у застосуванні складних комплексів та сімейств моделей руху даних (МРД) для різнотипних архітектур РКС з метою підвищення якості формування, швидкодії передавання та опрацювання даних, покращення собівартісних характеристик руху даних та ін.

На сьогодні розроблено елементи теорії руху даних, які відображають моделі мереж Петрі, критерії оптимізації процесів руху даних у різних архітектурах РКС та їх різних рівнях. Особливо актуальною проблемою є розроблення практично значущої теорії руху даних для РКС, які обслуговують технологічні об'єкти й промислові комплекси і традиційно включають технологічні, цехові та адміністративні рівні контролю станів і управління об'єктами. При цьому в якості об'єктів управління (ОУ) з кібернетичних позицій можна розглядати як технологічні, так і природничі та соціальні об'єкти.

Розроблення та реалізація узагальненої теорії МРД дозволяє суттєво підвищити функціональні можливості програмно-інформаційного та апаратного забезпечення КС збору, опрацювання, передавання, архівації даних та керування складними ОУ, що, у свою чергу, знижує вартість проектних рішень, прискорює виконання етапів проектування та діагностування складних багаторівневих КС, підвищує рівень достовірності ідентифікації станів ОУ та контролю відхилень їх станів від норми, а в загальному підвищує рівень надійності РКС.

Аналіз досліджень та огляд літературних джерел. Значний вклад у розвиток названого напрямку вдосконалення інформаційних технологій формування та цифрового опрацювання даних внесли відомі зарубіжні вчені К. Шеннон, Дж. Мартін [1–2]. Успішному вирішенню завдань удосконалення методів формування СД на основі складних алгоритмів, що реалізуються в різних ТЧБ, та зростаючих потужностей периферійної мікропроцесорної техніки сприяють значні досягнення в теорії, техніці та широкомасштабному впровадженні сучасних комп'ютерних мереж.

У зв'язку з освоєнням потужної комп'ютерної техніки в останні роки ефективно почали реалізовуватися складні алгоритми формування та цифрового опрацювання інформаційних потоків даних на основі фундаментальних досліджень учених-класиків України в галузі інформаційних технологій – В.М. Глушкова, О.В. Палагіна, Я.М. Николайчука [3–5].

Одним із перспективних напрямків розвитку теорії руху даних у КС є розроблення ефективних засобів моделювання архітектур і процесів руху даних у КС на основі багаторівневих ММРД. Теоретичною основою для розвитку ефективного вирішення такого класу завдань необхідно відзначити роботи В.К. Стеклова, В.М.Томашевського, І.Р. Пітуха [6–8].

Метою роботи є розроблення системи формалізованих графічних атрибутів "кольорових" мереж Петрі на прикладі багаторівневих моделей руху даних.

Архітектура багаторівневої мережевої РКС та задачі організації руху даних. У світовій практиці архітектура дистрибутивних розподілених систем реального часу, які призначені для контролю та управління технологічними об'єктами на промислових підприємствах, переважно має три вкладення. Тобто такий клас систем належить до розширених мереж Петрі, в яких реалізований принцип агрегації (наявність підсистем) (рис. 1).

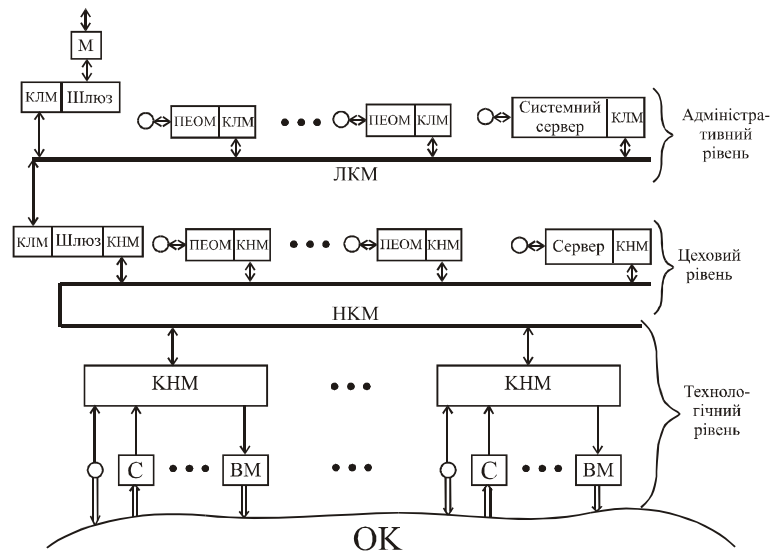
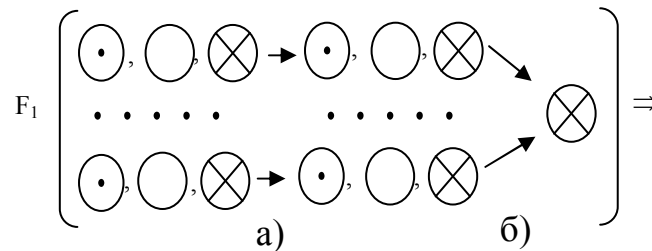


Рисунок 1. Трирівнева магістральна архітектура автоматизованої системи: ОК – об’єкт керування; С – сенсор; ВМ – виконавчий механізм; КНМ – контролер низової мережі; М – модем; О – оператор; КЛМ – контролер локальної мережі; НКМ – низова комп’ютерна мережа; ЛКМ – локальна комп’ютерна мережа

В узагальненій архітектурі руху даних багаторівневої РКС [8]



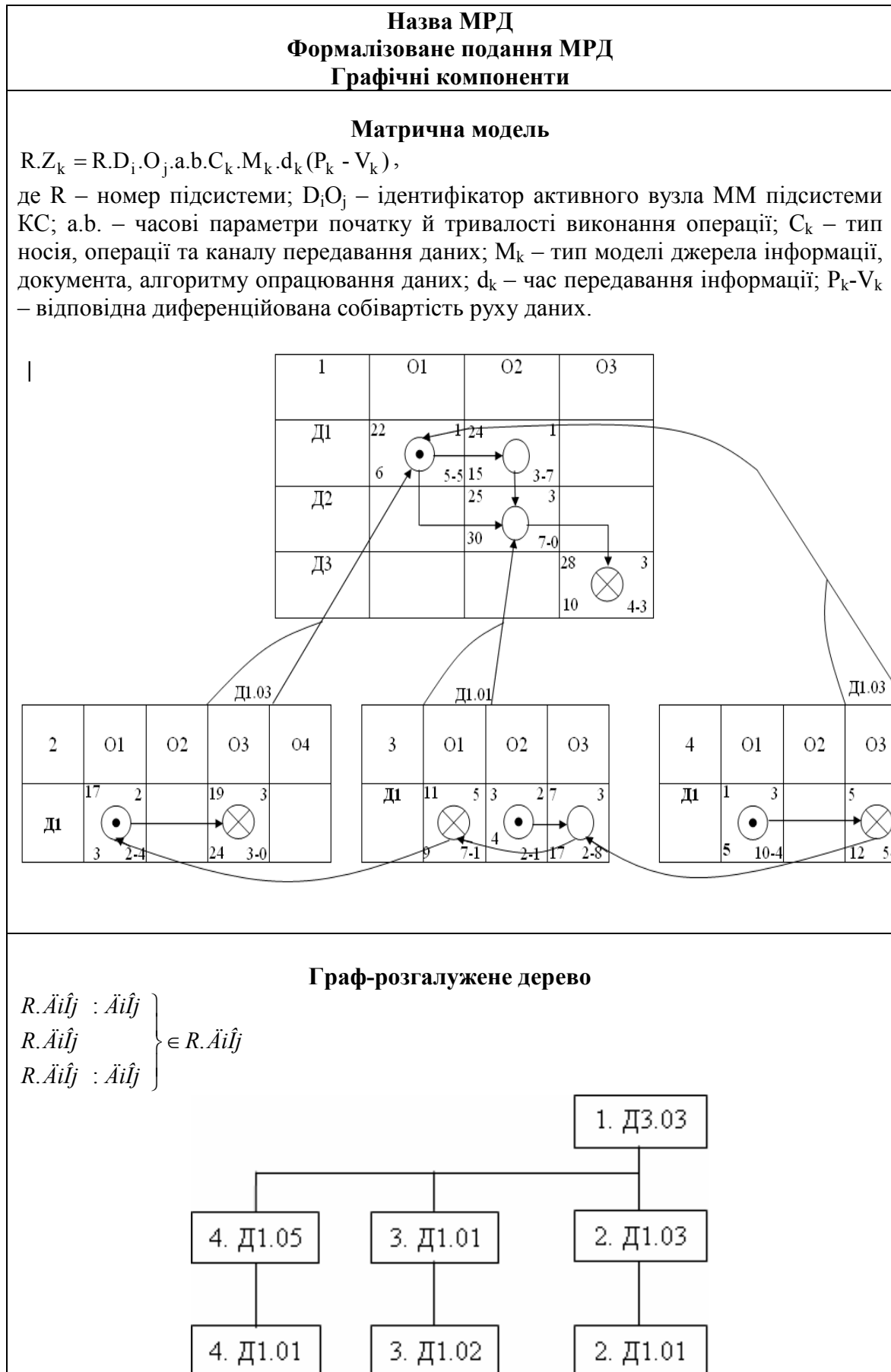
атрибути багаторівневої структури а) $\otimes \rightarrow \odot$ символізує інформаційний зв’язок між приймачами та джерелами різних рівнів архітектури РКС, тобто приймач даних більш низького рівня є джерелом даних для джерела більш високого рівня КС, а атрибут б) $\otimes \rightarrow \otimes$ демонструє об’єднання потоків даних залежних приймачів на входах незалежного приймача. Причому ці атрибути можуть реалізовуватися на одному або на різних рівнях РКС.

Реалізація такої архітектури руху даних у багаторівневих РКС потребує відповідної диференціації активних елементів МРД.

Удосконалення функціонала F2 методу формування даних у багаторівневих РКС полягає в сумісному кодуванні технологічних даних $X(t)$ та ТЕД $X(t) + \dot{O}A\ddot{A}$ на основі використання теоретичних положень базису Крестенсона, що дозволяє перетворити багатоканальну систему контролю технологічних даних і потік ТЕД в одноканальний біт-орієнтований потік СД, в якому одночасно реалізується захист від помилок шляхом введення додаткового модуля.

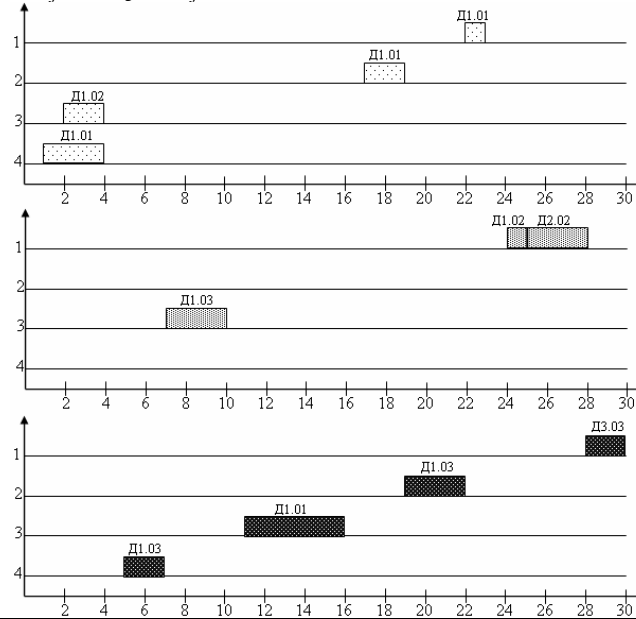
Класифікація сукупності моделей руху даних, їх формалізація. Теорія та інформаційна технологія побудови моделей руху даних розподілених КС системно викладені в роботах [5,8]. Результатом названих досліджень є формалізація технології побудови сукупності МРД, математична формалізація яких наведена в табл.1.

Таблиця 1. Формалізоване та графічне подання моделей руху даних



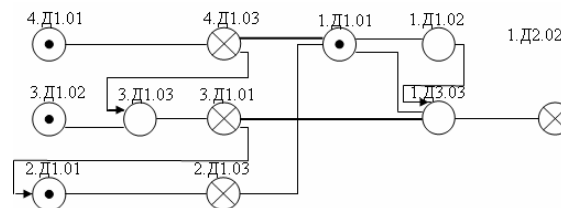
Параметрична часова модель

$R.DiOj.1.b_{ij}; DiOj.2.b_{ij}; DiOj.3.b_{ij};$



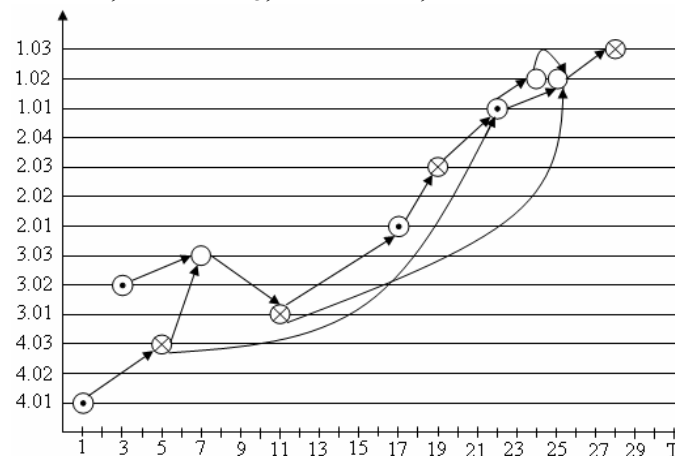
Структурно-часова модель

$D_iO_j.1: D_iO_j.2 \wedge (D_iO_j.1 \wedge \dots \wedge D_iO_j.2): D_iO_j.3: D_iO_j.3$



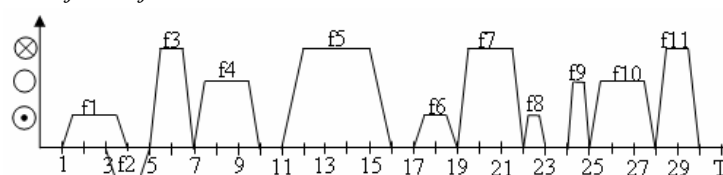
Мережевий графік

$5.D1O1.1.a_{11}; D1O2.2.a_{12}; D1O3.2.a_{13}; D1O4.3.a_{14};$

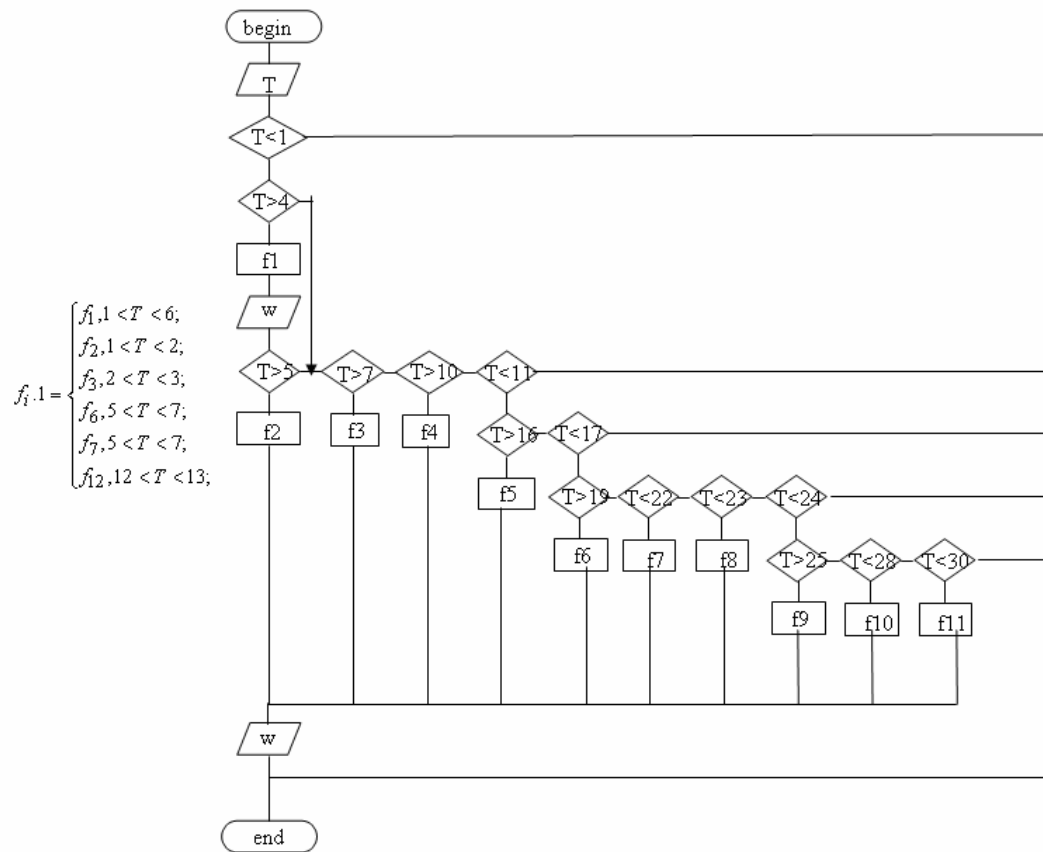


Суміщений часовий граф

$f_i = K.D_iO_j.d.(a_{ij} + b_{ij})$

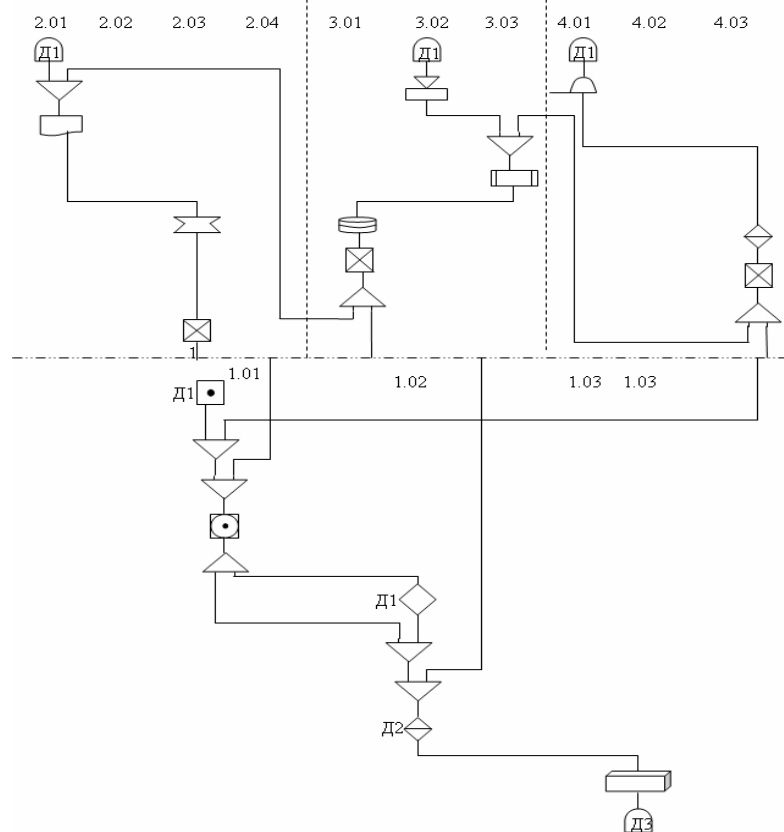


Блок-схема алгоритму

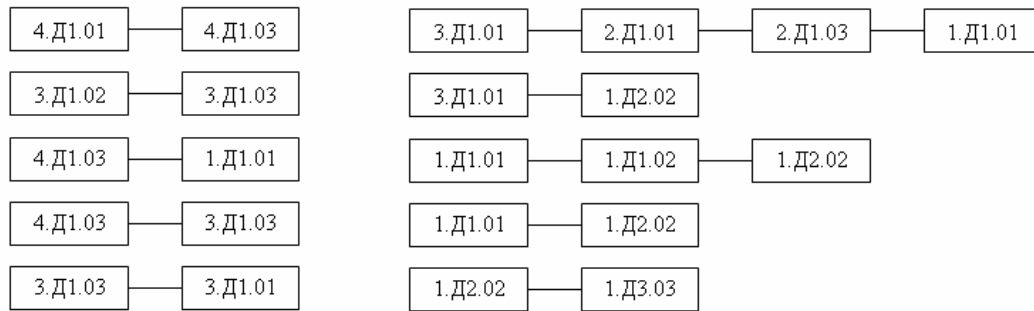


Граф-алгоритмічна модель

$R.DiOj.n : R.DiOj.n : R.DiOj.n; R.DiOj.n;$

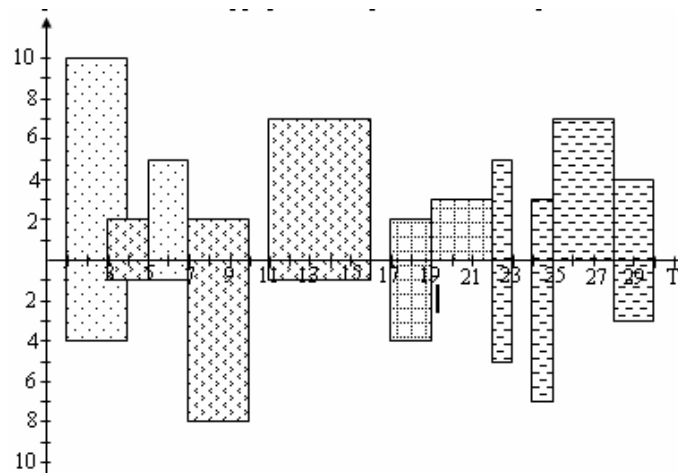


Цикли руху даних

 $R.DiOj : RDiOj : \dots$


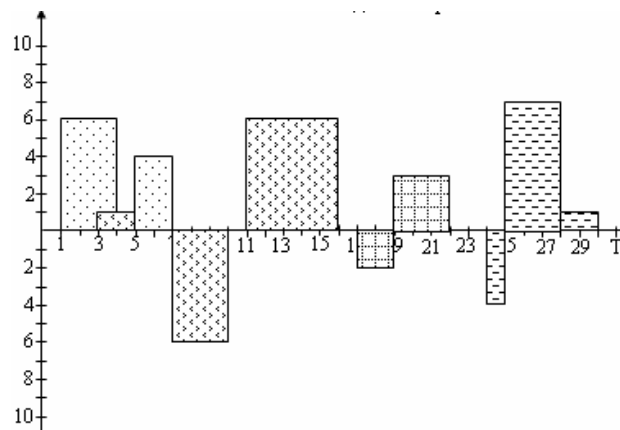
Сигнальна ЕРД

$$K \cdot E = \frac{P_{ij} - V_{ij}}{T_{ij}}$$



Диференціальна ЕРД

$$\Delta ERD = P_{ij} - V_{ij}$$



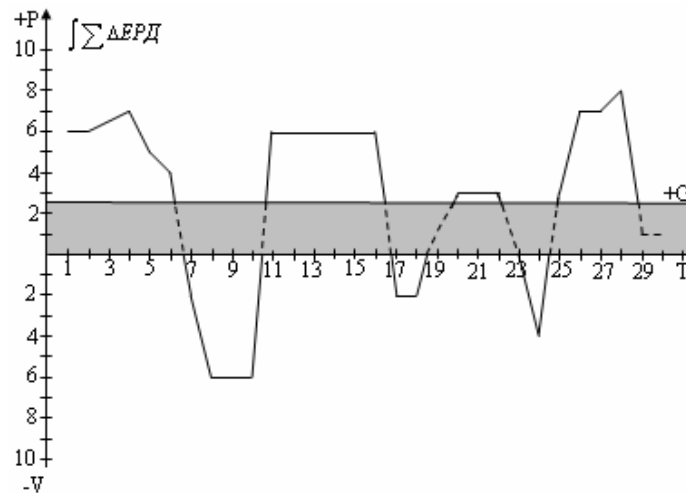
Інтегральна ЕРД

$$G_{EN} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \int \Delta \dot{D} \ddot{A} dt}{N} \rightarrow \max$$

де n – число часових інтервалів ковзної вибірки,

N – загальне число часових інтервалів,

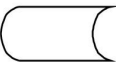
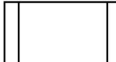

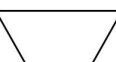
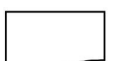

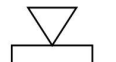




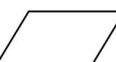
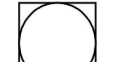
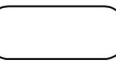




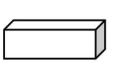


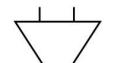
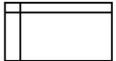

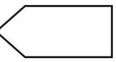

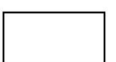

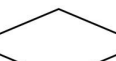



\max – критерій максимуму позитивних собівартісних показників руху даних



































Систематизація та формалізація атрибутів графічних представлень МРД. Наступна таблиця розширена від 41 існуючого числа атрибутів згідно з ГОСТом 19.003.80 до 64 символів, що передбачає їх подальше розширення та 8-бітове кодування, аналогічне кодуванню алфавітно-цифрових даних. В основу здійсненого розширення числа атрибутів граф-алгоритмічних моделей покладено:

- вилучення зі списку атрибутів морально застарілих носіїв інформації типу магнітний диск та ін.;
- введення символів новітніх засобів реєстрації, вводу-виводу та дистанційного передавання даних типу мишка, оптичний диск, модем та ін. (4–9);
- суттєве розширення символів сучасних засобів зв'язку типу Інтернет, мобільний, супутниковий та надвисокочастотний зв'язок, інфрачервоний та волоконно-оптичний канали зв'язку, 10 Мбіт/с та 100 Мбіт/с Ethernet (42–50);
- ступінь використання ресурсів ліній зв'язку $C=0.1, 0.2, \dots, 1.0$;
- додатково введені символи інтерактивно-керованих джерел, пунктів опрацювання та приймання даних (52–54);
- джерела, пункти опрацювання та приймання даних для організації міжрівневих зв'язків (55–57);
- неінтерактивні джерела, пункти опрацювання та приймачі з ознаками ступеня використання ресурсів (58–60) та без ознак використання ресурсів (61–64).

Таблиця 2. Типи операцій

| № п/п | Позначення | Зміст позначення | | | |
|-------|--|------------------------|----|---|--------------------------|
| 1 |  6 | Неавтономна пам'ять | 17 |  22 | Конкретизований процес |
| 2 |  9 | Автономна пам'ять | 18 |  12 | Ручна операція |
| 3 |  8 | Тверда копія документа | 19 |  20 | Допоміжна операція |
| 4 |  19 | Звуковий ввід/вивід | 20 |  12 | Ручний ввід |
| 5 |  6 | Мишка | 21 |  3 | Оптичний канал |
| 6 |  14 | Магнітно оптичний диск | 22 |  12 | Ввід/ вивід |
| 7 |  13 | Магнітна дискета | 23 |  4 | Пуск/зупинка |
| 8 |  4 | Оптичний диск | 24 |  18 | Ручний документ |
| 9 |  13 | Автономний сенсор | 25 |  12 | Оператор |
| 10 |  21 | Архів | 26 |  10 | Джерело-приймач |
| 11 |  12 | Магнітна карта | 27 |  15 | Злиття |
| 12 |  25 | Модем | 28 |  15 | Виділення |
| 13 |  15 | Дисплей | 29 |  15 | Групування |
| 14 |  12 | Процес | 30 |  13 | Сортування |
| 15 |  12 | Рішення | 31 |  1 | Сторінковий з'єднувач |
| 16 |  18 | Модифікація | 32 |  15 | Міжсторінковий з'єднувач |

Продовження таблиці 2

| | | | |
|----|--|----|---|
| 33 |  | 1 | Безпосередня передача |
| 34 |  | 2 | Інформаційний потік |
| 35 |  | 2 | Дублювання передачі |
| 36 |  | 7 | Канал зв'язку |
| 37 |  | 12 | Матеріальний потік |
| 38 |  | 18 | Розшифрування |
| 39 |  | 16 | Кодування |
| 40 |  | 13 | Копіювання |
| 41 |  | 12 | Автономна обробка |
| 42 |  | 3 | Інтернет |
| 43 |  | 18 | Мобільний зв'язок |
| 44 |  | 4 | Супутниковий зв'язок |
| 45 |  | 3 | Зверх високочастотний зв'язок |
| 46 |  | 3 | Зворотній зв'язок інтерактивного управління |
| 47 |  | 3 | Езернет – 10 Мбіт/с |
| 48 |  | 3 | Езернет – 100 Мбіт/с |
| 49 |  | 3 | Інфрачервоний канал зв'язку |
| 50 |  | 3 | Волоконно-оптичні лінії зв'язку |
| 51 |  | 11 | Степінь використання лінії зв'язку $C=0.1, 0.2, \dots, 1.0$ |
| 52 |  | 18 | Джерело з інтерактивним управлінням |
| 53 |  | 17 | Інтерактивно-керований пункт обробки даних |
| 54 |  | 31 | Інтерактивно-керований пункт приймання даних |
| 55 |  | 13 | Джерело міжрівневих зв'язків |
| 56 |  | 12 | Пункт приймання з міжрівневими зв'язками |
| 57 |  | 17 | Пункт обробки з міжрівневими зв'язками |
| 58 |  | 7 | Джерело з ознаками використання ресурсів |
| 59 |  | 6 | Пункт обробки з ознаками використання ресурсів |
| 60 |  | 19 | Пункт приймання з ознаками використання ресурсів |
| 61 |  | 10 | Неінтерактивне джерело |
| 62 |  | 17 | Пункт обробки даних |
| 63 |  | 16 | Незалежний приймач |
| 64 |  | 18 | Залежний приймач |

Оцінка структурної складності. Оцінку структурної складності представлення багаторівневих МРД виконаємо на основі адитивно-мультиплікативного критерію:

$$k_e = K \cdot \frac{\sum_{j=1}^m f_j}{\sum_{i=1}^n \alpha_i P_i} \Rightarrow \max \quad (1)$$

де $P_i \in (l, P, x, d, r, h, z, b, c, i, n, a, f)$ – параметри атрибутів МРД:






α_i – вагові коефіцієнти експертних оцінок інформаційності компонентів атрибутів МРД;

f_j – функціонально-інформаційна характеристика МРД;

K – ідентифікатор рівня МРД ($K=1, 2, \dots$ – відповідно для однорівневих і багаторівневих МРД).

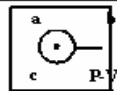
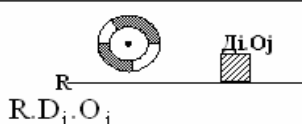
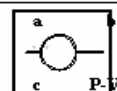
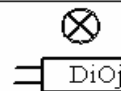
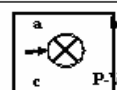
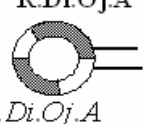
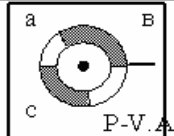
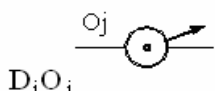
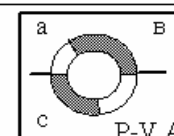
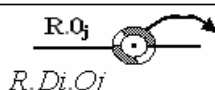
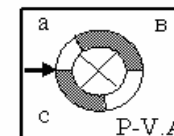
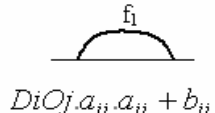
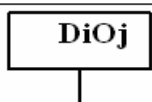
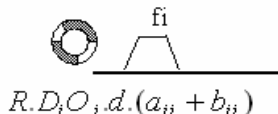

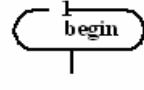
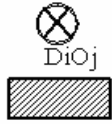
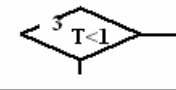



В табл. 3 наведена символіка атрибутів МРД та експертні оцінки коефіцієнта їх складності α_i параметрів $l, P, x, d, r, h, z, b, c, i, n, a$.

Таблиця 3. Символіка атрибутів МРД

| № з/п | Тип позначення елемента | Зміст елемента | Символи | α_i |
|-------|-------------------------|---------------------|---|------------|
| 1 | l | Лінія |  | 1 |
| 2 | P | Поворот |  | 2 |
| 3 | x | Пересічення |  | 3 |
| 4 | d | Дотик |  | 2 |
| 5 | r | Розгалуження |  | 2 |
| 6 | h | Штрихування |  | 2 |
| 7 | z | Направлений зв'язок |  | 2 3 |
| 8 | b | Буква | Аа, Бб... | 8 |
| | c | Цифра | 1, 2, ... 0 | 4 |
| | i | Індекс | | 4 |
| | n | Знак | <, >, ., ;, -, +, | 2 |

На основі критерію (1) та таблиці 3 визначаємо сумарну оцінку структурної складності компонентів різних способів представлення МРД (табл. 4):

Таблиця 4. Оцінка структурної складності компонентів

| № п/п | Структура компонента МРД | e | | | |
|----------|--|-----|----|---|----|
| 1 |  $D_i O_j . a . b . c . P - V ;$ | 59 | 10 |  $R . D_i . O_j$ | 58 |
| 2 |  $D_i O_j . a . b . c . P - V ;$ | 61 | 11 |  $D_i O_j$ | 48 |
| 3 |  $D_i O_j . a . b . c . P - V ;$ | 73 | 12 |  $R . D_i . O_j . A$ | 54 |
| 4 |  $R . D_i . O_j . a . b . C_k . M_k . d_k (P_k - V_k)$ | 74 | 13 |  $D_i O_j$ | 24 |
| 5 |  $R . D_i . O_j . a . b . C_k . M_k . d_k (P_k - V_k)$ | 108 | 14 |  $R . D_i . O_j$ | 39 |
| 6 |  $R . D_i . O_j . a . b . C_k . M_k . d_k (P_k - V_k)$ | 119 | 15 |  $DiOj . a_{ij} . a_{ij} + b_{ij}$ | 18 |
| 7 |  $D_i O_j$ | 39 | 16 |  $R . D_i O_j . d . (a_{ij} + b_{ij})$ | 30 |
| 8 |  $R . D_i . O_j$ | 63 | 17 |  $begin$ | 52 |
| 9 |  $D_i O_j$ | 52 | 18 |  $T < 1$ | 38 |
| | | | 19 |  fi | 40 |
| | | | 20 |  $R . O_j$ | 45 |
| | | | 21 |  $R . O_j$ | 57 |

На основі наведеної систематизації атрибутів "кольорових" мереж Петрі отримано гістограму структурної складності сукупності класифікованих у табл. 1 моделей руху даних.

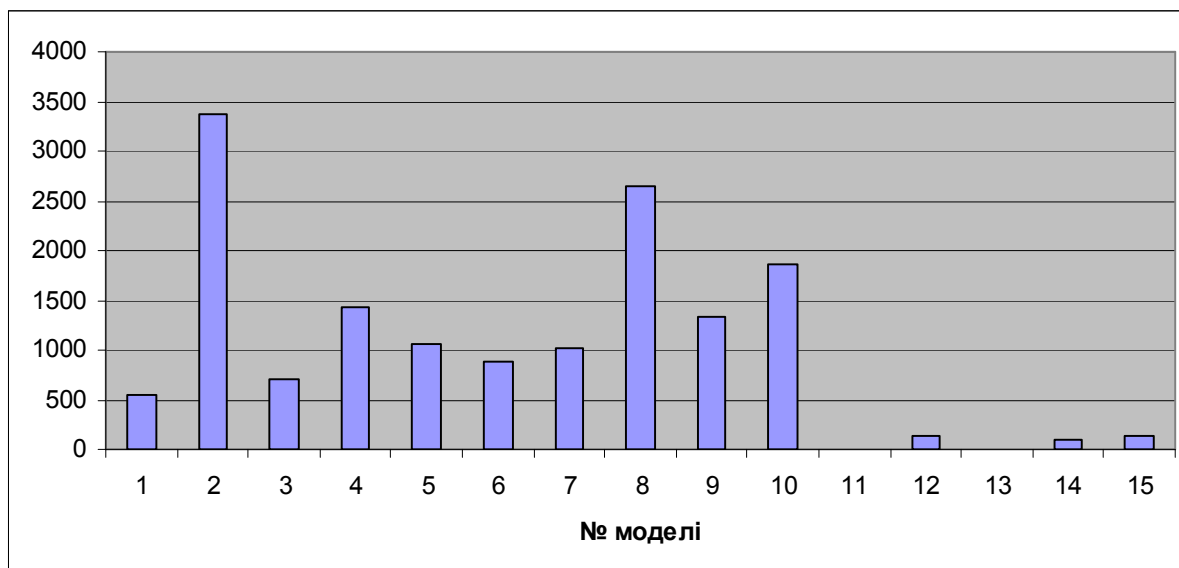


Рисунок 2. Структурна складність багаторівневих МРД.

З рис. 2 бачимо, що багаторівнева модифікована МРД та блок-схема опрацювання обробки даних характеризуються максимальною структурною складністю, а епюри руху даних – низькою структурною складністю.

Висновки. Викладені теоретичні засади та інформаційна технологія оцінки структурної складності багаторівневих МРД є важливим інструментом аналізу та порівняння інформативності кожної з сукупності МРД, що створює перспективи покращення їх інформативності шляхом оптимізації графічного представлення атрибутів, які характеризуються кращими ергономічними характеристиками. Це може підвищити продуктивність проектування та аналізу проектних рішень архітектур складних систем і відповідної документації з її налагодження, експлуатації та навчання користувачів. Розроблена теоретична база може стати основою оцінки архітектурної складності компонентів КС, охоплюючи рівні логічних схем, операційних пристроїв, елементів пам'яті та процесорів різного класу, алгоритмів, програмних продуктів, аналітичних рішень, а також типових архітектур розподілених комп'ютерних систем.

Література

1. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – Издательство иностранной литературы, 1963. – 438с.
2. Мартин Дж. Вычислительные сети и распределенная обработка данных / Дж. Мартин. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 256с.
3. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики / В.М. Глушков. – М.: Наука, 1987. – 552с.
4. Палагин А.В. Опыт разработки микропроцессорных распределенных систем реального времени / А.В. Палагин, Я.Н. Николайчук. – К.: Знание, 1988. – 19 с.
5. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації / Я.М. Николайчук. – Тернопіль: ТНЕУ, 2008. – 536с.
6. Стеклов В.К. Проектирование телекоммуникационных сетей / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман. – К.: Техніка, 2002. – 792 с.
7. Томашевський В.М. Моделювання систем / В.М. Томашевський. – К.: Видавнича група ВНУ, 2005. – 352 с.
8. Николайчук Я.М. Теорія моделей руху даних розподілених комп'ютерних систем / Я.М.Николайчук, І.Р. Пітух, Н.Я. Возна. – Тернопіль: Терно-граф, 2008 – 216 с.

Отримано 24.01.2011